https://doi.org/10.36100/dorogimosti2022.25.087

УДК 625.7

Савенко В. Я.[1], *д-р техн. наук, проф., https://orcid.org/0000-0001-8174-7728*
Ілляш С. І.[2], *канд. техн. наук, https://orcid.org/0000-0002-3001-8012*
Мудриченко А. Я.[2], *https://orcid.org/0000-0001-9787-2523*

[1] *Національний транспортний університет (НТУ), м. Київ, Україна*
[2] *Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна*

АНАЛІЗ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛИХ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ НА ОСНОВІ БІТУМУ З ДОДАВАННЯМ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ДОБАВОК ТА СПІНЕНОГО БІТУМУ

Анотація

Вступ. У статті досліджуються асфальтобетонні суміші, виготовлені за стандартною технологією згідно з [1, 2] та так звані теплі асфальтобетонні суміші, що виготовлені за знижених технологічних температур на основі бітуму з додаванням енергозберігаючих добавок та спіненого бітуму.

Проблематика. З урахуванням тенденцій сучасного світу постає питання щодо раціонального використання енергетичних ресурсів. В умовах збільшення обсягів дорожніх робіт одним із актуальних питань, яке виникає при приготуванні асфальтобетонної суміші, є зниження енерговитрат на її виготовлення.

Головним напрямком у вдосконаленні технології приготування асфальтобетонних сумішей є поліпшення адгезійних властивостей, що забезпечують міцне і стійке зчеплення з поверхнею мінеральних матеріалів різної природи і зчеплення між шарами в умовах знижених температур. Тому при розробленні нових технологій і способів застосування дорожніх бітумів для приготування асфальтобетонних сумішей питання їх адгезії з поверхнею мінеральних матеріалів повинні займати центральне місце. При цьому під адгезію розуміється зв'язок або взаємодія (зчеплення) між поверхнями двох різнорідних контактуючих тіл — бітуму і мінерального матеріалу [9].

Поліпшення властивостей бітуму в звичайних умовах досягається використанням додаткових дорогих ПАР, що ускладнюють технологію виготовлення та підвищують вартість асфальтобетону [9].

Підвищення адгезії можна досягти без використання дорогих модифікаторів, використовуючи технологію спінення бітумів, що дозволяє знизити поверхневий натяг бітуму і тим самим полегшити процес перемішування суміші, сприяти кращому вкриттю та рівномірному розподілу бітуму по поверхні мінеральних зерен. Це дозволяє знизити температуру приготування асфальтобетонної суміші і, як наслідок, забезпечити суттєву економію енергоресурсів. Утворення більш тонких плівок бітуму на мінеральній поверхні забезпечує зменшення потрібної кількості в'яжучого і таким чином сприяє зниженню вартості асфальтобетонної суміші. Більш низькі технологічні температури обумовлюють менше теплове старіння бітумів, що в свою чергу приводить до підвищення якості асфальтобетону та збільшення довговічності дорожніх покриттів [9].

Мета. Мета роботи полягала у дослідженні доцільності використання асфальтобетонних сумішей, що виготовлені за знижених технологічних температур на основі бітуму з додаванням енергозберігаючих добавок та спіненого бітуму.

Матеріали і методи. Проведено експериментальні порівняльні випробування традиційних гарячих асфальтобетонних сумішей з різним вмістом вихідного, спіненого та бітуму з додаванням енергозберігаючих добавок.

Результати. Встановлено доцільність використання теплих асфальтобетонних сумішей. Надано рекомендації щодо технологічних параметрів приготування, транспортування, укладання та ущільнення таких сумішей.

Висновки. Проведені дослідження показали, що використання технологій теплих асфальтобетонів, дозволяють знизити температуру приготування гарячих асфальтобетонних сумішей на (20–40) °С без погіршення міцнісних характеристик покриття порівняно з традиційним гарячим асфальтобетоном, що приготовлений на тому ж бітумі. Це досягається за рахунок відносно нових фізико-хімічних ефектів, що приводять до зниження опору суміші зсуву під час її приготування та ущільнення.

Ключові слова: автомобільна дорога, асфальтобетонна суміш, в'яжуче, дорожній одяг, енергозберігаюча добавка, спінений бітум, температура, фізико-механічні показники.

Вступ

Асфальтобетон є матеріалом, властивості якого переважно визначаються характеристиками взаємодії бітуму з поверхнею мінерального наповнювача. І хоча вміст бітуму в асфальтобетоні складає від 4 % до 8 %, проблема зміни властивостей асфальтобетону вирішується, головним чином, шляхом модифікації бітуму та регулюванням його взаємодії з мінеральним наповнювачем [9].

Для підвищення якості асфальтобетону і зниження витрат бітуму існує багато рекомендацій, які передбачають, зокрема, активацію мінеральних матеріалів, введення у склад в'яжучого модифікуючих добавок, комплексне використання різних в'яжучих, застосування більш досконалого обладнання тощо. Однак, більшість із цих способів передбачає підвищення витрат на приготування сумішей або суттєве ускладнення технології виконання робіт.

Одним з головних напрямків підвищення якості асфальтобетону є підвищення адгезійних властивостей, що забезпечує міцне зчеплення бітуму з поверхнею мінеральних матеріалів різного походження. При традиційній технології приготування асфальтобетонних сумішей появі тонких плівок бітуму сприяє підвищення температури бітуму, введення добавок, збільшення тривалості перемішування, що призводить до підвищення енерговитрат та зниження продуктивності [9].

Застосування спінених бітумів забезпечує зниження поверхневого натягу бітуму. Процес спінювання бітуму інтенсифікує процес змочування мінеральної поверхні складових асфальтобетонної суміші, що може підвищувати адгезію бітуму [9].

Основна частина

Дослідження можливості використання теплих асфальтобетонних сумішей передбачали проведення ряду експериментів щодо приготування та випробування таких сумішей.

Для приготування асфальтобетонів використовували: щебінь фракції (10-20) мм згідно з ДСТУ Б В.2.7-75 [5]; щебінь фракції (5-10) мм згідно з ДСТУ Б В.2.7-75 [5]; пісок із відсівів подрібнення вивержених гірських порід фракції (0-5) мм згідно з ДСТУ Б.В.2.7-210 [7]; мінеральний порошок згідно з ДСТУ Б В.2.7-121 [6]; РАП (регенерована асфальтобетонна суміш); бітум марки БНД 70/100, що відповідає вимогам ДСТУ 4044 [3].

При виконанні досліджень були проведені випробування таких асфальтобетонів:

– гарячого дрібнозернистого щільного асфальтобетону неперервчастої гранулометрії, марки І, типу А на вихідному бітумі БНД 70/100, з вмістом бітуму 5,0 %, 5,5 %, 6,0 %;

– гарячого дрібнозернистого щільного асфальтобетону неперервчастої гранулометрії, марки І, типу А на вихідному бітумі БНД 70/100 з додаванням енергозберігаючої добавки, з вмістом бітуму 4,5 %, 5,0 %, 5,5 %;

– гарячого дрібнозернистого щільного асфальтобетону неперервчастої гранулометрії, марки І, типу А на спіненому бітумі БНД 70/100, з вмістом бітуму 4,5 %, 5,0 %, 5,5 %;

– гарячого дрібнозернистого щільного асфальтобетону неперервчастої гранулометрії, марки І, типу А (+РАП) на спіненому бітумі БНД 70/100, з вмістом бітуму 4,5 %, 5,0 %, 5,5 %.

Приготування зразків асфальтобетонів здійснювалось з дотриманням стандартної послідовності та змісту технологічних операції згідно з ДСТУ Б В.2.7-119 [1] та ДСТУ Б В.2.7-319 [2].

Температура вихідного бітуму при перемішуванні становила (140–155) °С, мінерального матеріалу (170–180) °С. Температура при ущільненні знаходилась в межах (135–145) °С;

Температура бітуму при приготуванні теплих асфальтобетонних сумішей становила (130–145) °С, температура нагрівання мінерального матеріалу (140–160) °С. Температура при ущільненні зразків становила від 125 °С до 135 °С;

Таким чином використання енергозберігаючих добавок та спіненого бітуму дозволяє знизити температуру нагрівання в'яжучого і мінерального матеріалу на (10–15) °С.

Випробування асфальтобетонів на вихідному та спіненому бітумі проводились за показниками та методами випробувань, наведеними в **табл. 1**.

Таблиця 1

Показники та методи випробувань гарячих асфальтобетонів

Назва показника	Методи випробувань
Середня густина, ρ, г/см^3	р. 8 ДСТУ Б В.2.7-319
Водонасичення, W, % за об'ємом	р. 14 ДСТУ Б В.2.7-319
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури: - 0 °С - 20 °С - 50 °С	р. 16 ДСТУ Б В.2.7-319
Коефіцієнт довготривалої водостійкості, $K_{вд}$	р. 23 ДСТУ Б В.2.7-319

Результати випробування вихідного бітуму і сумішей асфальтобетонних на різних в'яжучих наведені в **табл. 2–6**.

Таблиця 2

Фізико-механічні характеристики вихідного бітуму БНД 70/100

Найменування показника, одиниця вимірювання	Результати випробування	Вимоги ДСТУ 4044
Пенетрація за температури 25 °С, 0,1 мм	72	від 70 до 100
Температура розм'якшеності за кільцем і кулею, °С	48	від 45 до 51
Температура крихкості, °С	мінус 19	не вище ніж мінус 13
Розтяжність за температури 25 °С, см	98	не менше ніж 60
Інтервал пластичності, °С	70	-
Зміна маси після прогрівання, % за масою	0,11	не більше ніж 0,9
Залишкова пенетрація, %	57	не більше ніж 59
Зміна температури розм'якшеності, °С	3,5	не більше ніж 6,0
Індекс пенетрації	мінус 0,91	від мінус 2,0 до 1,0

Таблиця 3

Фізико-механічні показники АСГ.Др.Щ.А.НП.І на основі вихідного бітуму

Показники	Значення показників залежно від кількості вихідного бітуму, %		
Кількість бітуму, %	5,0	5,5	6,0
Середня густина, ρ, г/см^3	2,38	2,41	2,41
Водонасичення, W, % за об'ємом	2,01	1,28	1,02
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 0 °С	8,63	10,07	9,84
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 20 °С	3,66	4,20	3,47
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 50 °С	1,43	1,75	1,45
Коефіцієнт довготривалої водостійкості, $K_{вд}$	0,90	0,92	0,93

Таблиця 4

Фізико-механічні показники АСГ.Др.Щ.А.НП.І на основі вихідного бітуму з використанням енергозберігаючої добавки

Показники	Значення показників залежно від кількості вихідного бітуму, %		
Кількість бітуму, %	4,5	5,0	5,5
Середня густина, ρ, г/см^3	2,39	2,41	2,41
Водонасичення, W, % за об'ємом	2,30	1,01	0,74
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 0 °С	7,15	7,53	7,58
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 20 °С	3,12	3,82	3,28
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 50 °С	1,26	1,43	1,26
Коефіцієнт довготривалої водостійкості, $K_{вд}$	0,92	0,96	0,96

Таблиця 5

Фізико-механічні показники АСГ.Др.Щ.А.НП.І на основі спіненого бітуму

Показники	Значення показників залежно від кількості вихідного бітуму, %		
Кількість бітуму, %	4,5	5,0	5,5
Середня густина, ρ, г/см^3	2,39	2,40	2,40
Водонасичення, W, % за об'ємом	2,72	1,28	0,74
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 0 °С	9,51	9,80	10,07
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 20 °С	4,13	4,67	4,59

Кінець таблиці 5

Показники	Значення показників залежно від кількості вихідного бітуму, %		
Границя міцності при стиску, *R*, МПа, за температури 50 °С	1,43	1,66	1,56
Коефіцієнт довготривалої водостійкості, $K_{вд}$	0,91	0,95	0,96

Таблиця 6

Фізико-механічні показники АСГ.Др.Щ.А.НП.І на основі спіненого бітуму та АСГ.Др.Щ.А.НП.І із додаванням 25 % фрезерованого матеріалу

Показники	Значення показників залежно від кількості вихідного бітуму, %		
Кількість бітуму, %	4,5	5,0	5,5
Середня густина, *ρ*, г/см^3	2,40	2,41	2,42
Водонасичення, *W*, % за об'ємом	2,47	1,46	0,83
Границя міцності при стиску, *R*, МПа, за температури 0 °С	11,16	11,54	11,85
Границя міцності при стиску, *R*, МПа, за температури 20 °С	4,67	5,25	4,65
Границя міцності при стиску, *R*, МПа, за температури 50 °С	1,35	1,64	1,51
Коефіцієнт довготривалої водостійкості, $K_{вд}$	0,89	0,91	0,92

За результатами випробувань встановлено (**рис. 1–3**), що границя міцності при стиску за температури 20 °С дрібнозернистого асфальтобетону типу А на вихідному бітумі при вмісті бітуму від 5,0 % до 6,0 % змінювалась із 3,47 МПа до 4,20 МПа. Максимальне значення міцності відповідало 5,5 % бітуму. Границя міцності при стиску за температури 50 °С дрібнозернистого асфальтобетону типу А за вмісту вихідного бітуму від 5,0 % до 6,0 % становила від 1,43 МПа до 1,75 МПа. Максимальне значення міцності 1,75 МПа асфальтобетону було при 5,5 % бітуму. Найвище значення границі міцності за температури 0 °С (10,07 МПа) спостерігалося за 5,5 % бітуму. Середня густина асфальтобетону типу А становила від 2,38 г/см^3 до 2,41 г/см^3. Її більше значення досягалось при 5,5 % бітуму. Найменше водонасичення асфальтобетону на вихідному бітумі дорівнювало 1,02 % при вмісті бітуму 6,0 %. Найбільше значення коефіцієнта довготривалої водостійкості 0,93 на вихідному бітумі дрібнозернистий асфальтобетон типу А мав при вмісті 6,0 %.

При додаванні до бітуму енергозберігаючої добавки границя міцності при стиску за температури 20 °С дрібнозернистого асфальтобетону типу А змінювалась з 3,12 МПа до 3,82 МПа при вмісті в'яжучого від 4,5 % до 5,5 %. Максимальне значення міцності 3,82 МПа відповідало 5,5 % бітуму. Границя міцності при стиску за температури 50 °С дрібнозернистого асфальтобетону типу А при вмісті бітуму від 4,5 % до 5,5 % та незмінній кількості енергозберігаючої добавки становила від 1,26 МПа до 1,43 МПа. Максимальне значення міцності 1,43 МПа асфальтобетону було при 5,0 % бітуму. Найвище значення границі міцності при температурі 0 °С (7,58 МПа) відповідає вмісту бітуму 5,5 %. Середня густина асфальтобетону типу А становила від 2,39 г/см^3 до 2,41 г/см^3. Її більше значення досягалось при 5,0 % бітуму.

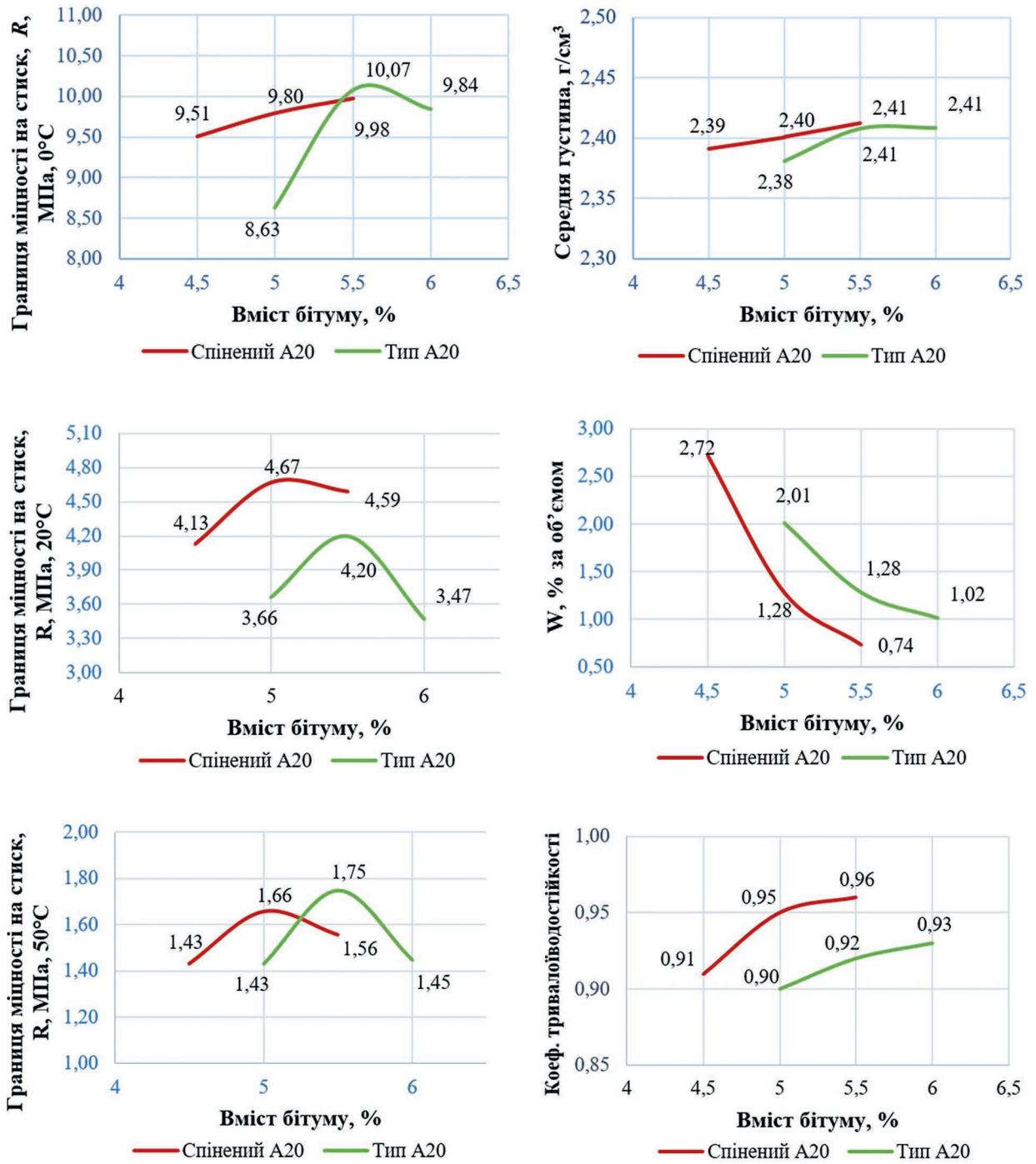

Рисунок 1 — Порівняння фізико-механічних показників АСГ.Др.Щ.А.НП.І на основі вихідного та спіненого бітумів

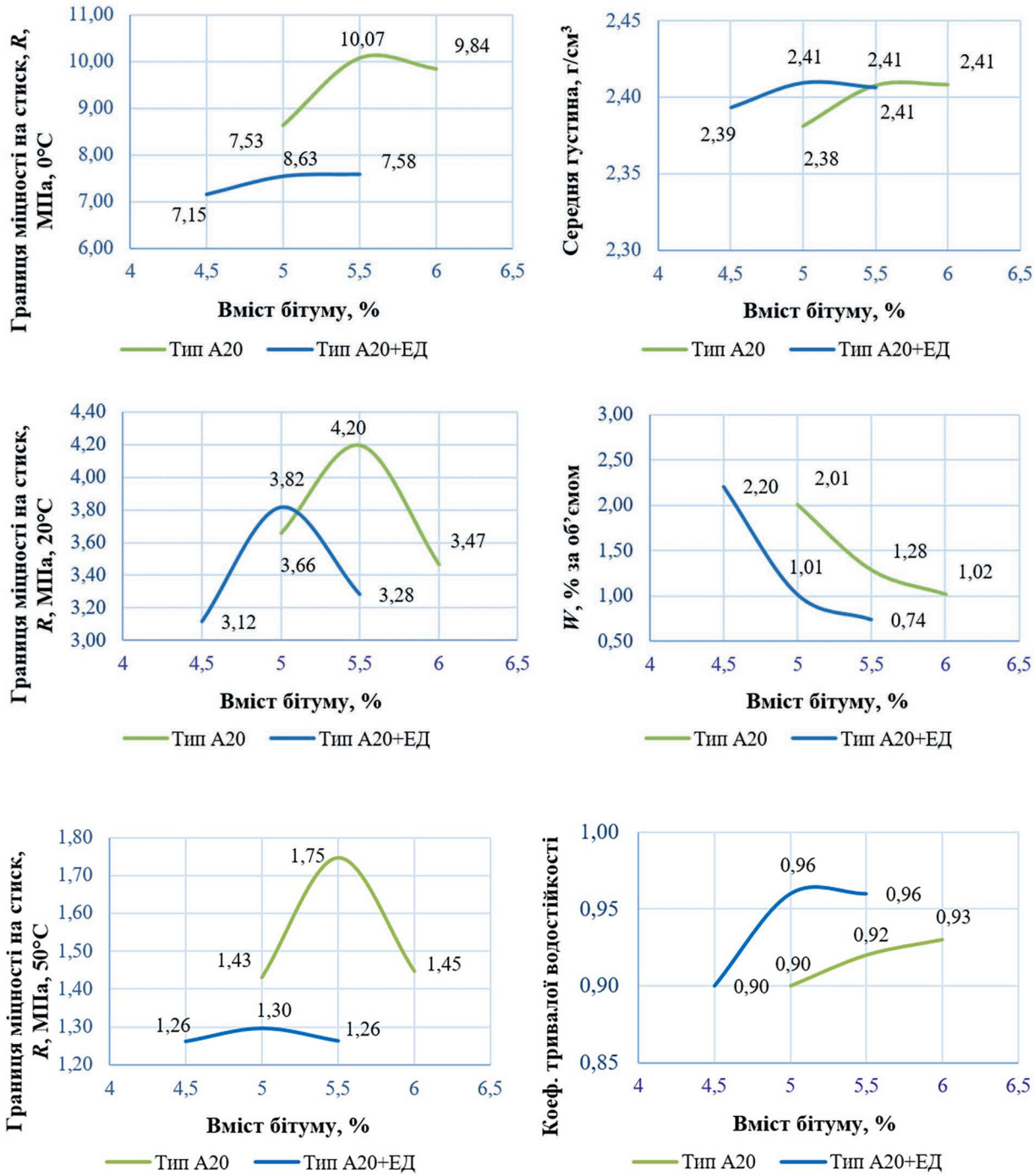

Рисунок 2 — Порівняння фізико-механічних показників АСГ.Др.Щ.А.НП.І на основі вихідного бітуму та бітуму з енергозберігаючою добавкою

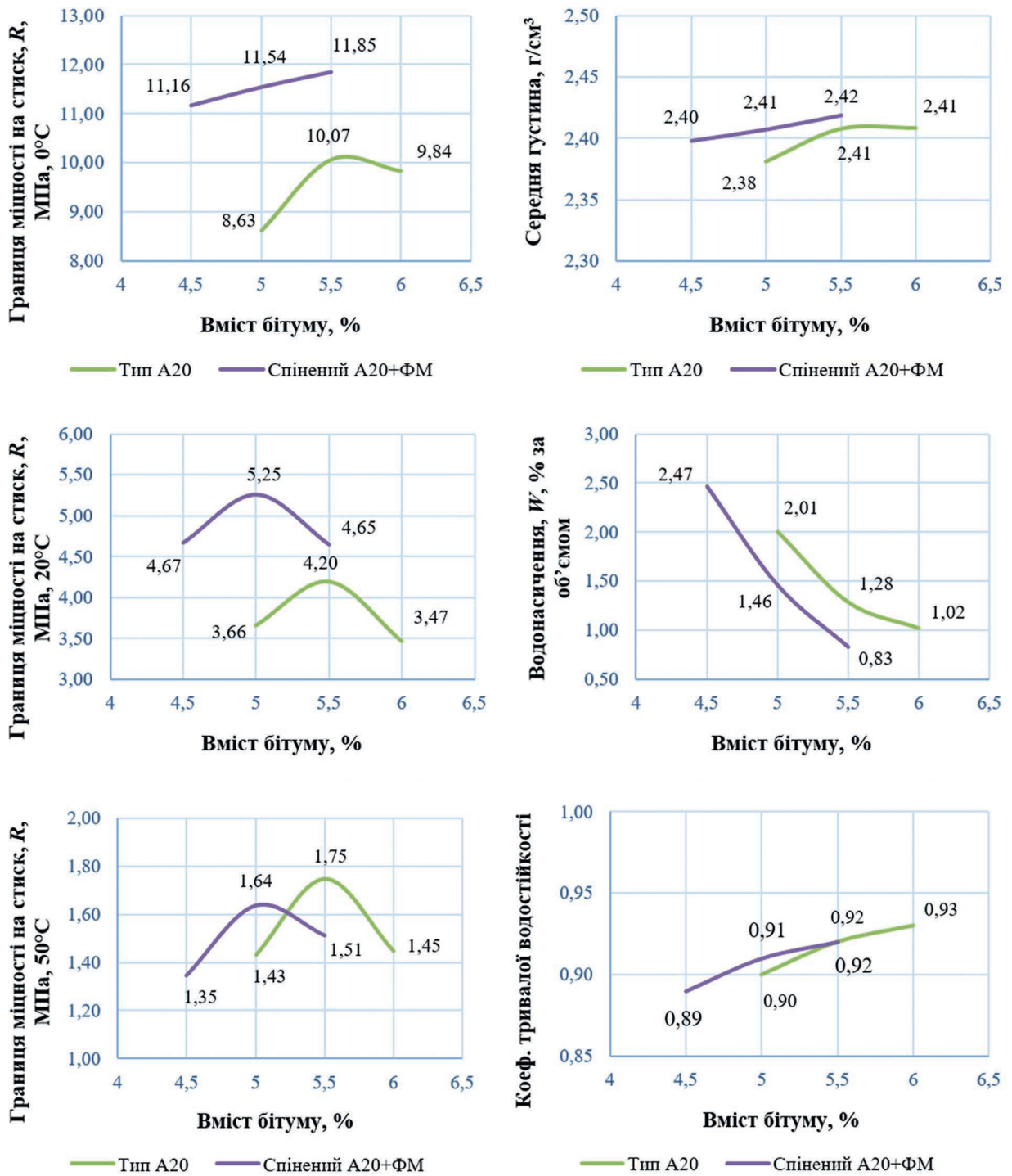

Рисунок 3 — Порівняння фізико-механічних показників АСГ.Др.Щ.А.НП.І на основі вихідного бітуму та АСГ.Др.Щ.А.НП.І із додаванням 25 % фрезерованого матеріалу

Найменше водонасичення асфальтобетону на бітумі з додаванням енергозберігаючої добавки дорівнювало 0,74 % при вмісті бітуму 5,5 %. Найбільше значення коефіцієнта довготривалої водостійкості 0,96 дрібнозернистий асфальтобетон типу А з додаванням енергозберігаючої добавки мав при вмісті 5,0 %.

При використанні спіненого бітуму границя міцності при стиску за температури 20 °С дрібнозернистого асфальтобетону типу А змінювалась з 4,13 МПа до 4,67 МПа при вмісті в'яжучого від 4,5 % до 5,5 %. Найбільше значення міцності за температури 20 °С (4,67 МПа) відповідало 5,0 % в'яжучого. Границя міцності при стиску за температури 50 °С асфальтобетону типу А залежно від вмісту спіненого бітуму становила (1,43–1,66) МПа. Найвище значення міцності за температури 50 °С було при 5,0 % спіненого бітуму. Найвище значення границі міцності при температурі 0 °С асфальтобетону на спіненому бітумі (10,07 МПа) спостерігалось при 5,5 % бітуму. Середня густина дрібнозернистого асфальтобетону типу А була практично незмінною при вмісті спіненого бітуму (5,0–5,5) % і становила 2,40 г/см^3, при вмісті 4,5 % — 2,39 г/см^3. При зміні вмісту спіненого бітуму від 4,5 % до 5,5 % найнижче значення водонасичення дрібнозернистого асфальтобетону дорівнює 0,74, найвище (при 4,5 % бітуму) — 2,4 %. Коефіцієнт довготривалої водостійкості дрібнозернистого асфальтобетону типу А був найбільшим при вмісті спіненого бітуму 5,5 % і становив 0,96.

У результаті додавання фрезерованого матеріалу та вспіненого бітумі границя міцності при стиску коливалась в межах (4,65–5,25) МПа. Найбільше значення міцності 5,25 МПа відповідало 5,0 % бітуму. Границя міцності при стиску за температури 50 °С дрібнозернистого асфальтобетону типу А (+ фрезерований матеріал) при вмісті бітуму від 4,5 % до 5,5 % становила від 1,35 МПа до 1,64 МПа. Максимальне значення міцності 1,64 МПа асфальтобетону було при 5,0 % бітуму. %. Найбільше значення міцності за температури 0 °С (11,85 МПа) відповідало 5,5 % в'яжучого. Середня густина асфальтобетону типу А становила від 2,40 г/см^3 до 2,42 г/см^3. Її більше значення досягалось при 5,5 % бітуму. Найменше водонасичення асфальтобетону на вихідному бітумі дорівнювало 0,83 % при вмісті бітуму 5,5 %. Найбільше значення коефіцієнта довготривалої водостійкості на вихідному бітумі дрібнозернистий асфальтобетон типу А мав при вмісті 5,5 %.

Таким чином дрібнозернистий асфальтобетон типу А на вихідному бітумі показував найкращі результати при вмісті бітуму 5,5 %. При додаванні енергозберігаючої добавки до вихідного бітуму найкращих показників асфальтобетон досягнув при 5,0 % в'яжучого. На спіненому бітумі асфальтобетон типу А мав найкращі результати при вмісті бітуму 5,0 %. Асфальтобетон з додаванням фрезерованого матеріалу на вспіненому бітумі показав кращі результати при вмісті в'яжучого 5,0 %.

Висновки

Проведені дослідження використання технології приготування асфальтобетонних сумішей на основі бітумів з додованням енергозберігаючих добавок та спінених бітумів дають змогу зробити такі висновки:

1. Фізико-механічні характеристики цих сумішей, встановлені під час випробувань згідно із затвердженими методиками, відповідають вимогам чинних нормативних документів.

2. Аналіз результатів випробувань засвідчив, що використання енергозберігаючих технологій дає змогу на (10–30) °С знизити температуру приготування та ущільнення усіх типів досліджених асфальтобетонних сумішей, а також орієнтовно на 10 % зменшити потрібний вміст бітуму (на 0,5 % від маси суміші). При цьому якість отриманих асфальтобетонів не погіршується, а за певними показниками має місце деяке покращення їх властивостей. Так на (5–10) % зростає міцність при температурі 20 °С та 50 °С, на (0,1–0,5) % збільшується густина та на (0,1–0,5) % зростає коефіцієнт довготривалої водостійкості.

3. Результати випробувань дозволяють зробити висновок про доцільність використання теплих асфальтобетонів.

4. Зниження температури та скорочення часу перемішування суміші забезпечує енергозбереження та зменшує старіння бітумів, що сприяє підвищенню довговічності покриттів.

5. Подовження строків служби дорожніх покриттів зменшує витрати на виконання ремонтних робіт і тим самим обумовлює ефективність даної технології.

6. Використання меншої кількості вихідного бітуму порівняно із традиційними технологіями, що дозволяє зменшити вартість асфальтобетонної суміші.

Список літератури

1. ДСТУ Б В.2.7-119:2011 Суміші асфальтобетонні та асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови. Київ, 2011. 49 с. (Інформація та документація).

2. ДСТУ Б В.2.7-319:2016 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань. Київ, 2016. 64 с. (Інформація та документація).

3. ДСТУ 4044:2019 Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні вимоги. Київ, 2019. 11 с. (Інформація та документація).

4. ДСТУ Б В.2.7-30:2013 Матеріали нерудні для щебеневих і гравійних основ та покриттів автомобільних доріг. Загальні технічні умови. Київ. 2013. 49 с. (Інформація та документація).

5. ДСТУ Б В.2.7-75-98 Будівельні матеріали. Щебінь та гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Технічні умови. Київ, 1998. 52 с. (Інформація та документація).

6. ДСТУ Б В.2.7-210:2010 Будівельні матеріали. Пісок із відсівів дроблення вивержених гірських порід для будівельних робіт. Технічні умови. Київ, 2010. 23 с. (Інформація та документація).

7. ДСТУ Б В.2.7-121:2014 Порошок мінеральний для асфальтобетонних сумішей. Технічні умови. Київ, 2014 . 34 с. (Інформація та документація).

8. ДСТУ-Н Б В.2.7-315:2016 Настанова щодо виробництва та застосування асфальтобетонних сумішей за знижених технологічних температур із використанням енергозберігаючих добавок. Київ, 2061. 17 с. (Інформація та документація).

9. Радовський Б.С. Прогрес технологій виробництва теплих асфальтобетонних сумішей в США. Автомобільні Дороги. Київ, 2011. № 8. С. 29–39.

References

1. DSTU B V.2.7-119:2011 Sumishi asfaltobetonni i asfaltobeton dorozhnii ta aerodromnyi. Tekhnichni umovy [State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-119:2011) Asphaltic concrete mixtures, road and aerodromes asphaltic concrete. Specifications]. Kyiv, 2012. 49 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

2. DSTU B V.2.7-319:2016 Sumishi asfaltobetonni i asfaltobeton dorozhniy ta aerodromnii. Metody vyprobuvan [State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-319:2016) Mixtures of asphalt and asphalt road and airfield. Test methods]. Kyiv, 2016. 64 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

3. DSTU 4044:2019 Bitumy naftovi dorozhni viazki. Tekhnichni vymohy [State Standard of Ukraine (DSTU 4044:2019) Viscous petroleum road bitumens. Specification]. Kyiv, 2019. 11 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

4. DSTU B V.2.7-30:2013 Materialy nerudni dlia shchebenevykh i hraviinykh osnov ta pokryttiv avtomobilnykh dorih. Zahalni tekhnichni umovy [State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-30:2013) Rock

products for crushed stone and gravel bases and surfacings of automobile roads. General specifications]. Kyiv, 2013. 49 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

5. DSTU B V.2.7-75-98 Budivelni materialy. Shchebin ta hravii shchilni pryrodni dlia budivelnykh materialiv, vyrobiv, konstruktsii ta robit. Tekhnichni umovy [State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-75-98) Building materials. Solid natural crushed stone and gravel for building materials, products, structures and construction works. Specifications]. Kyiv, 1998. 17 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

6. DSTU B V.2.7-210:2010 Budivelni materialy. Pisok iz vidsiviv droblennia vyverzhenykh hirskykh porid dlia budivelnykh robit. Tekhnichni umovy [State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-210:2010) Building materials. Sand from sereening after crushing of igneous rocks for construction works. Specifications]. Kyiv, 2010. 23 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

7. DSTU B V.2.7-121:2014 Poroshok mineralnyi dlia asfaltobetonnykh sumishei. Tekhnichni umovy [State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-121:2014) Mineral filler for asphalt concrete mixtures. Specifications]. Kyiv. 2014 . 34 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

8. DSTU-N B V.2.7-315:2016 Nastanova shchodo vyrobnytstva ta zastosuvannia asfaltobetonnykh sumishei za znyzhenykh tekhnolohichnykh temperatur iz vykorystanniam enerhozberihaiuchykh dobavok [State Standard of Ukraine (DSTU-N B V.2.7-315:2016) Guidelines on the production and using asphalt mixtures at the reduced process temperatures using energy-saving additives]. Kyiv, 2017. 17 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

9. Radovskyi B.S. Prohres tekhnolohii vyrobnytstva teplykh asfaltobetonnykh sumishei v SShA [Advances in technology for the production of warm asphalt mixtures in the United States]. Avtomobilni Dorohy. Kyiv, 2011. № 8. P. 29-39.

Vyacheslav Savenko[1], *D.Sc., Prof., https://orcid.org/0000-0001-8174-7728*
Serhii Illiash[2], *Ph.D., https://orcid.org/0000-0002-3001-8012*
Anatolii Mudrychenko[2], *https://orcid.org/0000-0001-9787-2523*
[1] *National Transport University (NTU), Kyiv, Ukraine*
[2] *M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine*

ANALYSIS OF PHYSICO-MECHANICAL CHARACTERISTICS OF WARM ASPHALT CONCRETE MIXTURES BASED ON BITUMEN WITH THE ADDITION OF ENERGY-SAVING ADDITIVES AND FOAMED BITUMEN

Abstract

Introduction. The article investigates asphalt concrete mixtures made by standard technology according to [1], [2] and so-called warm asphalt concrete mixtures made at low technological temperatures on the basis of bitumen with the addition of energy-saving additives and foamed bitumen.

Problem statement. Considering the trends of the modern world, the problem arises regarding the effective use of energy resources. In conditions of increase the volumes of road works one of actual questions which arises at preparation of asphalt concrete mix, is the energy saving for its manufacturing.

The main direction in improving the technology of preparation of asphalt mixtures is to improve the adhesive properties that provide strong and stable adhesion to the pavement surface of mineral materials of different origins and adhesion between layers at low temperatures. Therefore, in the development of new technologies and methods of use of paving bitumen for the preparation of asphalt mixtures, the issue of their adhesion to the pavement surface of mineral materials has to be central. At that the adhesion means the connection or interaction (adhesion) between the surfaces of two dissimilar contact layers - bitumen

and mineral material [9].

Improving the properties of bitumen under normal conditions is reached by using additional expensive surfactants, which complicate the manufacturing technology and increase the cost of asphalt concrete [9].

Improving of adhesion can be reached without use of expensive modifiers, using bitumen foaming technology, which reduces the surface tension of bitumen and thus facilitate the mixing process, promotes better coverage and uniform distribution of bitumen on the surface of mineral grains. This allows to reduce the temperature of the asphalt mixture preparation and as a result — to provide significant energy savings. The formation of thinner bitumen films on the mineral surface reduces the required volume of binder and thus reduces the cost of the asphalt mixture. Lower technological temperatures cause less thermal aging of bitumen, which in turn leads to improved quality of asphalt concrete and increased durability of pavements [9].

Purpose. The purpose of research was to study the feasibility of use of asphalt concrete mixtures made at low technological temperatures on the basis of bitumen with the addition of energy-saving additives and foamed bitumen.

Materials and methods. Experimental comparative tests of traditional hot asphalt concrete mixtures with miscellaneous content of the output, foamed bitumen and bitumen with the addition of energy-saving additives were performed.

Results. The feasibility of warm asphalt concrete mixtures use has been established. Recommendations on technological parameters of preparation, transportation, laying and compaction of such mixtures are presented.

Conclusions. Performed studies have shown that the use of warm asphalt concrete technologies can reduce the temperature of hot asphalt concrete mixtures preparing by (20–40) °C without deterioration of strength characteristics of the pavement in compare with traditional hot asphalt concrete that prepared on the same bitumen. This is reached due to the relatively new physical and chemical effects that lead to decrease in the shear resistance of the mixture during its preparation and compaction.

Keywords: road, asphalt mixture, binder, pavement, energy saving additive, foamed bitumen, temperature, physical and mechanical parameters.